·临床教学·

虚拟现实结合动作捕捉技术在CPR+AED教学中的应用效果分析

王海旭[1]　李婧[1]　任家孚[1]　丛日博[2]

[1]内蒙古医科大学附属医院心血管内科，呼和浩特 010010；[2]内蒙古自治区精神卫生中心神经内科，呼和浩特 010050

通信作者：李婧，Email：dpcddd@163.com

【摘要】 目的　研究虚拟现实（virtual reality，VR）结合光学动作捕捉技术（optical motion capture，OMC）应用于医学生心肺复苏（cardiopulmonary resuscitation，CPR）+自动体外除颤器（automated external defibrillator，AED）技能培训的教学效果。**方法**　选取内蒙古医科大学2020级临床医学专业学生60名，将其分为传统教学组与VR+OMC教学组，每组各30名学生。所有学生接受统一理论培训后，分组进行实践操作培训。分别在培训后即刻、培训后1个月及6个月进行考试，并统计考试成绩。**结果**　培训后即刻考试时与培训后1个月考试时，2组间成绩差异无统计学意义。在培训后6个月再次进行考试时，VR+OMC组的平均成绩明显高于传统教学组的平均成绩（76.00 ± 4.33 vs. 71.73 ± 5.30），差异具有统计学意义（t=−3.41，P<0.001）；VR+OMC教学组学生的平均按压频率[（115.20 ± 0.87）次/min]仍处于合格范围，但传统教学组的平均按压频率[（89.35 ± 1.06）次/min]低于合格范围；培训后第6个月时，VR+OMC教学组学生与传统教学组学生的平均按压正确率[（84.00 ± 2.89）% vs.（81.16 ± 3.54）%]的差异具有统计学意义（t=−3.41，P<0.001），2组间正确率保持率[（93.22 ± 1.79）% vs.（90.62 ± 2.16）%]的差异同样具有统计学意义（t=−5.07，P<0.001），VR+OMC教学组优于传统教学组。**结论**　经过3次考试可以发现，结果表明，不论哪一种教学方法，学生的平均成绩随着培训时间的增长均呈现下降的趋势。相较于传统教学，使用VR+OMC进行CPR+AED培训可以提高教学效果，并有利于学生的技能长期维持在较高水平。

【关键词】 虚拟现实；　动作捕捉；　心肺复苏；　自动体外除颤器；　临床教学

【中图分类号】 R54

基金项目：内蒙古自治区教育科学“十四五”规划课题（NGJGH2024735）；内蒙古医科大学2024年度高等教育教学改革研究与实践项目（NYJXGGSJ2024028）；内蒙古医科大学附属医院高层次人才培养项目“航行系列”（QH202402）；内蒙古医科大学“鸿雁”项目（NYLHHY202309）

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20251222-02276

Analysis of the application effects of virtual reality combined with motion capture technology in cardiopulmonary resuscitation and automated external defibrillator training

Wang Haixu[1], Li Jing[1], Ren Jiafu[1], Cong Ribo[2]

[1]Department of Cardiology, Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010010, China; [2]Department of Neurology, Inner Mongolia Autonomous Region Mental Health Center, Hohhot 010050, China

Corresponding author: Li Jing, Email: dpcddd@163.com

【Abstract】 Objective　To investigate the impact of applying virtual reality (VR) combined with optical motion capture (OMC) technology to the skill training of cardiopulmonary resuscitation (CPR) and automated external defibrillator (AED) on the teaching effect among medical students. **Methods**　A total of 60 students majoring in clinical medicine from the 2020 grade of Inner Mongolia Medical University were enrolled as study subjects. They were divided into traditional teaching group and VR+OMC teaching group, with 30 students in each group. All students received unified theoretical training followed by practical operation training by group. Examinations were administered immediately, 1 month, and 6 months

post-training, and the results were statistically analyzed. **Results** There was no significant difference in the scores between the two groups in the examinations held immediately and 1 month post-training. At the reassessment performed 6 months post-training, the mean score of the VR+OMC group was significantly higher than that of the traditional teaching group (76.00 ± 4.33 vs. 71.73 ± 5.30, t=−3.41, P<0.001). The mean chest compression frequency of students in the VR+OMC group [(115.20 ± 0.87) compressions/min] remained within the qualified range, while that of the traditional teaching group [(89.35 ± 1.06) compressions/min] fell below the qualified range. At the assessment performed 6 months post-training, a significant difference was observed between the VR+OMC teaching group and the traditional teaching group in the mean accuracy rate of chest compression (84.00 ± 2.89 vs. 81.16 ± 3.54, t=−3.41, P<0.001). Additionally, the VR+OMC teaching group significantly outperformed the traditional teaching group in maintaining the accuracy rate of chest compression [(93.22 ± 1.79)% vs. (90.62 ± 2.16)%, t=−5.07, P<0.001]. **Conclusions** Based on the results of the three examinations, the mean scores of students showed a downward trend with the extension of training duration, regardless of the teaching methods. Compared with traditional teaching, the application of VR+OMC to CPR and AED training can improve teaching effectiveness and help students maintain their skills at a high level for an extended period.

【Key words】 Virtual reality; Motion capture; Cardiopulmonary resuscitation; Automated external defibrillator; Clinical teaching

Fund program: 14th Five Year Plan Project for Education Science in Inner Mongolia Autonomous Region (NGJGH2024735); Research and Practice Project of Higher Education Teaching Reform in Inner Mongolia Medical University in 2024 (NYJXGGSJ2024028); Inner Mongolia Medical University Affiliated Hospital Talent Training Project-Sailing Series (QH202402); Inner Mongolia Medical University "Hongyan" Project (NYLHHY202309)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20251222-02276

心源性猝死是全世界大部分地区的主要致死原因之一，而高质量的心肺复苏（cardiopulmonary resuscitation，CPR）与尽早使用体外自动除颤仪（automated external defibrillator，AED）进行治疗是提高心源性猝死患者存活率的有效措施，也是医务人员必须掌握的基本急救技能[1]。医学生作为数量庞大的医疗后备军，提升其CPR和AED技能水平对提升医务人员整体急救操作能力具有重要意义[2]。然而，由于目前培训方法的限制和复训周期的不确定，我国医学生的CPR与AED知识和技能水平并不理想。导致这一问题的原因可能包括：第一，国内大部分医学院校采用传统的课堂讲授法培训学生，该方法的优势在于教师授课内容明确，能够详细讲解CPR与AED的基本理论知识与操作要点，但这种“灌输式”的教学模式内容枯燥，难以调动学生学习的主动性，学生学习热情不高；并且，教学过程中学生实际操作机会少、练习时长不足，学生无法掌握CPR与AED的操作要点，甚至无法掌握正确的复苏姿势和AED系统实践操作方法，教师在教学过程中忽视了学生操作能力的培养，导致学生在实践时无法进行有效、高质量的CPR操作和及时使用AED。第二，CPR与AED的复训周期未明确，培训后不能及时进行反复练习，导致学生CPR知识和技能水平随着时间流逝逐渐衰退。随着虚拟现实技术（virtual reality，VR）与光学动作捕捉技术（optical motion capture，OMC）的不断发展，其在医学领域展现出良好的应用前景[3]。VR技术是仿真技术、显示图形技术等多种技术的集合，它使用软件生成拟真图形，让使用者通过显示设备体验到在真实环境中的感觉。而OMC技术是利用安装在身体上的传感设备，对人体动作进行实时标测记录，将捕捉到的实时数据传回系统，再通过VR技术模拟出场景和人物的实时互动模型动画，从而让使用者获得身临其境的交互体验[4]。基于VR技术与OMC技术的新型教学手段层出不穷，涵盖内外妇儿等很多临床学科[5-6]。在CPR方面，国内已有多位学者开始使用虚拟现实技术进行CPR的培训研究[7-8]。本研究针对目前CPR+AED技能培训的痛点与难点问题展开攻关，提出以VR联合OMC技术作为教学手段，采用高质量的3D内容制作，真实还原现场环境。同时，利用OMC技术实时记录操作者的按压姿势等数据，以便实时对学生进行纠正指导，实现VR状态下的虚

实融合教学模式。通过VR+OMC进行真实的模拟仿真操作，加强实践操作演练、技能评估等多模式体验[9]，以期提高CPR的教学质量，使学生能真正掌握这一急救技能。

1　对象与方法

1.1　研究对象

选取内蒙古医科大学2020级临床医学本科四年级阶段的学生，在完成《内科学》循环系统疾病课程后，招募60名学生参与研究。由于CPR+AED培训不属于教学大纲规定的授课内容，因此通过校内平台招募学生自愿参加。采用随机数字表法，将学生分别归入传统教学组和VR+OMC教学组，每组各30名学生。

1.2　培训过程

所有学生进行30 min理论培训，内容以美国心脏协会认证的基础生命支持（basic life support，BLS）课程为基础。教师着重讲解CPR与AED的概念和重要性、适应条件、操作流程、操作要点、注意事项等。2组实践操作培训时间均为2学时，先由教师进行标准演示，然后学生进行练习，使用巨成公司心肺复苏智能模拟训练系统JC-E130B。所有操作的一个循环是指30次胸外按压、2次人工呼吸及1次AED放电治疗。JC-E130B模拟人系统实时记录按压正确与错误次数（位置、深度、回弹）、循环内平均按压频率、人工呼吸潮气量、按压通气比、电极片粘贴位置及除颤是否成功。

传统教学组使用模拟人进行实践技能操作，由培训教师根据操作动作与软件数据纠正错误。VR+OMC组学生佩戴VR设备与光学动作捕捉设备后在模型上进行实践操作。学生以目击者角色参与急救，进入预设情境，并随着故事情节发展学习如何实施CPR+AED，其间对突发情况作出相应处置。

VR与OMC系统及内容由北京虚拟动点科技公司制作，具体场景内容为：某大型商场内1名路人突然晕厥，经判断为心脏骤停，需立即急救。学生按系统中的操作提示，随着故事情节的发展学习如何实施CPR与AED，直至情节发展到生命体征恢复、救护车到来，虚拟学习结束。VR显示系统可以虚拟当前急救场景，将CPR模拟人实体化，结合当前操作进行实时动画反馈，还可模拟危险环境、路人呼救、救护车到达等场景。而OMC设备则实时记录学生操作时手臂姿势、按压部位、按压深度与按压频率，若错误明显则实时反馈在VR图像中，能够及时纠正学生的错误动作，便于教师针对性复盘。团队培训人员由5人构成。其中包括1名具有高级职称的主讲教师、2名助教（均为主治医师），主要负责辅助教学及规范操作内容。另外有设备调试人员2名。团队成员均经过统一培训，且熟练掌握培训内容与考核内容。

1.3　结果考核

在统一培训后，分别于培训后即刻、培训后1个月及培训后6个月进行教学评测考试。即刻考试成绩一方面可以评估学生的学习效果，以便针对不足之处进行改正练习；另一方面，基于技能衰退理论，设置1个月、6个月这2个时间点，能够评估不同教学方法对技能短期掌握与长期保留的影响。参考AHA 2020心血管急救指南中技能复训周期的建议，1个月和6个月是评估技能衰退速度的关键节点；国内相关研究同样认为，6个月评价是衡量有效性的核心指标[8]。

由团队教师担任考官，使用JC-E130B模拟人自带软件“心肺复苏AED智能模拟训练系统V1.0.0.1”作为考核工具进行考核。在学生考试过程中，教师使用该软件点击评价学生是否完成环境评估、自我防护、意识判断、请求帮助、复苏体位摆放、清理口腔、恢复体位调整与心理陪护等操作。模型实时记录并反馈成绩的项目包括：按压频率、按压深度、按压后胸廓回弹情况、有效人工呼吸、按压通气比、电极片位置、是否成功放电。按压姿势、按压部位的评分则由教师记录。系统设置5个循环，最终以学生完成所有循环并使用AED为操作结束的标志。

最终成绩由考核教师依据CPR考核成绩记录表进行评分统计（图1）。通过对2组学生在2个不同时刻的考试成绩进行对比统计分析，以评估采用新技术教学手段的教学效果。

1.4　统计学方法

采用SPSS 27.0软件进行分析，计量资料以均数 ± 标准差表示，计数资料以频数和百分比表示。对于符合正态分布的连续变量，采用独立样本t检验；对于分类变量，采用卡方检验。各组在不同随访时间点的考核成绩，采用配对样本t检验进行不同时间点间的组内两两比较。为进一步分析技能保留的整体时间效应及教学方法与时间的交互作用，采用重复测量方差分析对3个时间点的数据进

行整体建模。当不满足球形假设时，采用格林豪斯–盖斯勒校正，构建以个体为随机效应的线性混合模型，并将时间点和教学方法作为固定效应纳入分析。检验水准 α=0.05。

2　结果

2.1　一般资料比较

本次研究共纳入 60 名学生，这些学生均为临床医学专业本科第四学年的学生。60 名学生均完成了 3 次考核，其中男性 22 人、女性 38 人。2 组间学生的性别、年龄差异无统计学意义（表 1）。

2.2　2 组学生考试成绩对比

培训后即刻考试成绩显示，传统教学组平均分为 85.93 ± 3.24，略低于 VR+OMC 教学组的 86.83 ± 2.69，差异无统计学意义（P>0.05）。培训后 1 个月进行考试时，VR+OMC 教学组平均分为 79.83 ± 3.81，仍高于传统教学组的 77.53 ± 5.23，但差异仍无统计学意义（P>0.05）；且 2 组间平均按压频率（115.97 ± 0.76 vs. 115.51 ± 1.05）、平均按压正确率（86.56 ± 2.54 vs. 85.02 ± 3.49）及正确率保持率

考核阶段	□教学后即刻 □教学后 1 个月 □教学后 6 个月	考核日期	____年____月____日	
		分数		
考核模块	操作步骤	评分标准	分值	得分
一、急救启动与评估（共 10 分）	环境评估+自我防护（教师判定）	10 s 内完成评估，明确“无触电、车流、坠落等危险”，不盲目靠近患者	4	
	意识判断（教师判定）	轻拍双肩+重呼，5 s 内判读呼吸与动脉搏动	2	
	请求帮助（教师判定）	确认无意识后呼叫 120+AED	2	
	复苏体位（教师判定）	患者仰卧硬质平面，充分暴露胸廓	2	
二、胸外按压（共 50 分）	按压部位（APP 判定）	全程按压位置精准落在两乳头与前正中线连线中点，无任何偏移（满分）； 按压位置轻微偏移，但未超出胸部正中线区域（减 5 分）； 按压位置明显偏移或按压位置错误（不得分）	10	
	按压姿势（教师判定）	双手交扣、掌根贴胸、双臂伸直	5	
	按压深度（APP 判定）	全程按压深度稳定在标准区间内（成人 5~6 cm），无 1 次不达标（满分）； 80%~99% 的按压深度达标，仅少数（1~2 次）略浅或略深（减 5 分）； 50%~79% 的按压深度达标，存在多次过浅或过深（减 10 分）； <50% 的按压深度达标，或全程过浅过深，可能造成肋骨骨折（不得分）	15	
	按压频率（APP 判定）	全程频率稳定在 100~120 次/min（满分）； 频率在 90~99 次/min 或 121~130 次/min，偏差较小且全程稳定（减 5 分）； 频率在 80~89 次/min 或 131~140 次/min，偏差较大，或全程频率波动频繁（减 10 分）； 频率<80 次/min 或>140 次/min，完全偏离标准，或存在明显停顿（不得分）	15	
	按压回弹（APP 判定）	每次胸廓完全回弹，1 次未回弹扣 1 分	5	
三、气道开放（共 10 分）	口腔异物清除（教师判定）	5 s 内检查口腔，钩状法清除异物，无残留	5	
	仰头提颏操作（APP 判定）	耳垂–下颌角垂直地面	5	
四、人工呼吸（共 20 分）	气道密封（APP 判定）	捏鼻、口唇全包裹无漏气，1 次漏气扣 1 分	5	
	通气（APP 判定）	每次 1~2 s，1 次不达标扣 1 分	10	
	按压–呼吸循环配合（APP 判定）	30∶2 比例，1 次循环错乱扣 2 分	5	
五、AED（共 10 分）	正确开机（APP 判定）	正确开机并连接电极插口	3	
	粘贴电极片（APP 判定）	按正确位置粘贴电极片	3	
	放电（APP 判定）	听从语音提示操作放电	4	

图 1　CPR 考核阶段评分表

表 1　2 组学生一般资料比较（n=30）

项目	传统教学组	VR+OMC 组	χ^2/t 值	P 值
性别[例（%）]			0.29	0.592
女性	18（60.00）	20（66.67）		
男性	12（40.00）	10（33.33）		
年龄（岁，$\bar{x} \pm s$）	21.05 ± 0.82	21.12 ± 0.79	–0.35	0.728

（94.91 ± 3.07 vs. 93.83 ± 3.26）也相当，差异无统计学意义（P>0.05）。

在培训后 6 个月再次进行考试时，VR+OMC 组平均成绩为（76.00 ± 4.33）分，明显高于传统教学组的（71.73 ± 5.30）分，差异具有统计学意义（P<0.05）。在第 6 个月进行考试时，VR+OMC 教学组学生的平均按压频率为（115.20 ± 0.87），仍处于合格范围，但传统教学组的平均按压频率（89.35 ± 1.06）则低于合格范围。VR+OMC 教学组学生在第 6 个月时的平均按压正确率（84.00 ± 2.89）与正确率保持率（93.22 ± 1.79）均高于传统教学组（81.16 ± 3.54、90.62 ± 2.16），差异具有统计学意义（P<0.05）（表 2）。

2.3　2 组学生自身 3 次按压正确率对比

为比较传统教学组与 VR+OMC 教学组学生在培训后即刻、1 个月及 6 个月的自身平均按压正确率的差异，采用单因素方差分析（analysis of variance，ANOVA）进行统计检验。对于组内不同时间点的两两比较，若方差不齐（Levene 检验 P<0.05），采用 Tamhane's T2 法进行校正。经重复测量方差分析，2 组学生自身的平均按压正确率差异均具有统计学意义（对照组：F=69.54，P<0.001；VR+OMC 组：F=67.07，P<0.001）。事后两两比较（采用 Tamhane's T2 校正）结果显示，2 组学生各自在培训后 1 个月与培训后 6 个月的平均正确率均显著低于培训后即刻的成绩，且培训后 6 个月的按压正确率也显著低于培训后 1 个月的按压正确率（所有比较 P<0.05）（表 3）。

2.4　2 组学生的按压正确率与保持率分析

Mauchly 球形度检验结果显示，Mauchly's W=0.72，P<0.001，数据不满足球形假设，故采用格林豪斯–盖斯勒校正结果。重复测量方差分析显示，时间效应显著，2 组学生的平均按压正确率均随时间显著下降（P<0.001），这表明 CPR 技能存在明显的自然衰退现象。交互作用显著，时间与教学方法存在显著的交互作用（P=0.012），VR+OMC 组技能衰退速度显著慢于传统组（表 4、表 5）。组间差异显著，VR+OMC 组的整体按压正确率显著高于传统组（P=0.008）（表 4）。

表 2　2 组学生考试成绩对比（n=30）

项目	传统组	VR+OMC 组	t 值	P 值
即刻成绩（分，$\bar{x} \pm s$）	85.93 ± 3.24	86.83 ± 2.69	−1.17	0.246
1 个月成绩（分，$\bar{x} \pm s$）	77.53 ± 5.23	79.83 ± 3.81	−1.94	0.056
6 个月成绩（分，$\bar{x} \pm s$）	71.73 ± 5.30	76.00 ± 4.33	−3.41	<0.001
即刻平均按压频率	117.19 ± 0.65	117.37 ± 0.54	−1.17	0.246
1 个月平均按压频率	115.51 ± 1.05	115.97 ± 0.76	−1.94	0.056
6 个月平均按压频率	89.35 ± 1.06	115.20 ± 0.87	−103.39	<0.001
即刻平均按压正确率	90.62 ± 2.16	91.22 ± 1.79	−1.17	0.246
1 个月平均按压正确率	85.02 ± 3.49	86.56 ± 2.54	−1.94	0.056
6 个月平均按压正确率	81.16 ± 3.54	84.00 ± 2.89	−3.41	<0.001
1 个月保持率	93.83 ± 3.26	94.91 ± 3.07	−1.32	0.189
6 个月保持率	90.62 ± 2.16	93.22 ± 1.79	−5.07	<0.001

表 3　培训后即刻、培训后 1 个月与培训后 6 个月自身按压正确率对比

组别	即刻	1 个月	6 个月	F 值	P 值
传统教学组	90.62 ± 2.16^{a}	85.02 ± 3.49^{b}	81.16 ± 3.54^{c}	69.54	<0.001
VR+OMC 组	91.22 ± 1.79^{A}	86.56 ± 2.54^{B}	84.00 ± 2.89^{C}	67.07	<0.001

注：同行数据肩标不同字母表示同一组内不同时间点比较差异有统计学意义（P<0.05）。

表 4　重复测量方差分析结果（主体内效应检验）

效应	F 值	df 值	P 值	偏 η^2
时间点主效应	289.67	（1.565，90.741）	<0.001	0.833
时间点 × 组别交互效应	5.19	（1.565，90.741）	0.012	0.082
时间点线性趋势	419.07	（1，58）	<0.001	0.878
时间点二次趋势	15.69	（1，58）	<0.001	0.213
时间点线性 × 组别	7.58	（1，58）	0.008	0.116

表5　重复测量方差分析结果（主体间效应检验）

效应	*F*值	*df*值	*P*值	偏 η^2
组别主效应	7.59	（1,58）	0.008	0.116
截距	82 388.19	（1,58）	<0.001	0.999

表6　固定效应参数估计值（以VR+OMC组6个月时为参照）

参数	估计值	标准误	*t*值	*P*值	95%置信区间
截距（VR+OMC组6个月）	84.000	0.536	156.82	<0.001	[82.932,85.068]
时间点：即刻 vs. 6个月	7.222	0.519	13.90	<0.001	[6.188,8.257]
时间点：1个月 vs. 6个月	2.556	0.408	6.27	<0.001	[1.706,3.405]
组别：传统 vs. VR+OMC	−2.844	0.757	−3.75	<0.001	[−4.354,−1.335]
即刻×传统组交互	2.244	0.734	3.05	0.003	[0.781,3.707]
1个月×传统组交互	1.311	0.576	2.27	0.034	[0.110,2.512]

按压正确率随时间推移显著下降。培训即刻与培训后6个月相比，估计值为7.222（*P*<0.001）；培训后1个月与培训后6个月相比，估计值为2.556（*P*<0.001）。这表明从培训后到6个月再次考试期间，技能衰退明显。VR+OMC教学组的整体按压正确率显著高于传统教学组，平均高出2.844个百分点（95%*CI*=−1.335~−4.354，*P*<0.001）。

2组技能随时间衰退的模式存在显著差异：在即刻时间点，传统组与VR+OMC组的差异为2.244个百分点（*P*=0.003）；在1个月时间点，传统组与VR+OMC组的差异为1.311个百分点（*P*=0.034）。这表明虽然2组技能均随时间下降，但传统组的下降幅度更大，见表6。

3　讨论

3.1　虚拟现实结合动作捕捉技术提高了学生的CPR+AED操作水平

本研究发现，对比传统教学组，VR+OMC组学生对CPR与AED的知识掌握更牢靠，表现在培训即刻、培训后1个月与培训后6个月时都有更好的培训成绩。相比传统教学组，VR+OMC组学生在培训后6个月有更好的成绩表现，分析可能的原因是：第一，CPR与AED作为一项急救技能，更重要的是实际操作，而虚拟现实结合动作捕捉技术的高仿真设备的应用给学生带来了更真实的体验，从而能更好地沉浸式学习，学习专注力更强，自主学习能力得到更大程度的发挥；第二，动作捕捉技术在虚拟现实技术的基础上，使学生的动作更加规范、准确，更客观地指出学生操作时的问题。吴晓青等[10]研究指出VR教学的核心优势是沉浸感，本研究补充证实，OMC技术的精准动作捕捉与即时反馈可进一步放大VR教学的优势，使操作规范性显著提升。

3.2　新模式培训有利于CPR与AED技能维持在较高水平

CPR+AED作为实践性较强的技能操作，如果训练强度不够、复训不及时，后期的技能水平将难以维系。既往张伟东等[8]的研究发现，使用VR教学时，学生的即刻考核成绩显著高于传统组，但该研究未关注长期技能保留情况。本研究通过重复测量方差分析结果显示，2组学生的CPR+AED技能均随时间自然衰退，但VR+OMC组的衰退速度显著慢于传统组，且6个月时的正确率保持率[(93.22±1.79)%]显著高于传统组[(90.62±2.16)%]，这证实了联合技术在技能长效维持方面的独特价值[11]。分析其技能维持在较高水平的可能原因如下：首先，传统模型+情景模拟教学属于低度仿真模拟教学，由教师根据培训目标设计教学病例情景，学生据此进行模拟和演绎，然而模拟的情景和过程与真实抢救情景仍存在一定差距；而虚拟现实培训属于高度仿真模拟教学，它利用计算机虚拟出三维情景，通过沉浸式场景呈现核心知识点，将抽象的操作要求转化为具象体验，降低外部认知负荷，通过即时反馈聚焦关键技能，提升有效认知负荷。虚拟现实培训具有更高的科技含量，能为学生提供更贴近真实抢救的情景和高水平的人机互动，促使学生完全沉浸在急救培训中，确保整个学习过程中学生的注意力高度集中，从而加深学生对CPR+AED的学习记忆。并且，该模式允许学生在无风险、无资源限制的条件下反复练习，有效弥补了传统教学中操作机会不足的缺陷，增强了学生的自我效能感，而高自

我效能者更易在长期记忆中保留操作技能。其次，将动作捕捉技术引入虚拟现实场景培训中，高仿真急救场景激活了学生的情景记忆系统，使操作技能与具体场景深度绑定。相较于传统教学的“孤立技能记忆”，这种教学方式更易使技能长期留存，还能激发学生的学习兴趣。OMC 技术通过实时捕捉手臂姿势、深度及频率等数据，将操作误差即时反馈到 VR 画面中，实现了“操作—反馈—纠正”的闭环训练。与传统教学的“延迟反馈”相比，这种闭环训练更能快速固化正确操作，减少错误动作的记忆干扰，从而延缓技能衰退。OMC 技术对操作数据进行量化记录与反馈，使学生能够精准定位自身薄弱环节并针对性强化，形成个性化训练路径，有助于核心技能的深度内化。相较于传统教学，OMC 技术能够更加客观、细致地把握学生的学习效果。最后，利用虚拟技术培训能够充分满足学生的求知欲，激发其学习兴趣，强化记忆留存效果，使技能获得持久性和稳定性。

3.3　对重点项目的成绩和维持性分析

2020 版《美国心脏协会心肺复苏及心血管急救指南》中明确提出，高质量的 CPR 是指具备足够的按压速率和按压深度，保证按压后胸廓充分回弹，尽可能减少按压中断并避免过度通气，也就是本研究中 CPR 技能操作考核表里重点项目的条目加上非重点条目中的人工呼吸条目。实施高质量的 CPR 与患者生存结局密切相关，但在实际患者抢救中，不论是医务人员还是非专业目击者，实施高质量 CPR 的现状均不理想[12]。Yannopoulos 等[13]回顾分析了 8 719 名接受 CPR 的院外心脏骤停患者的数据，结果显示，在所有胸外按压操作中，有 1/4 的按压速率不合格，有 1/3 的按压深度不够。另 1 项关于院内医务人员实施 CPR 的调查显示，在抢救前 5 min 实施 CPR 的过程中，有 37.4% 的时间按压深度过浅（<38 mm），有 28.1% 的时间按压频率过慢（<90 次/min），还有 60.9% 的时间通气频率过高（>20 次/min）。因此，保证培训对象能够掌握并实施高质量的 CPR 是培训的重点目标。

通过计算重点条目的正确率，本研究发现 VR+OMC 组较传统教学组在按压深度、按压频率和按压后胸廓完全回弹这 3 个条目上均表现出更高的准确性。培训后 6 个月，VR+OMC 组有更好的正确率及维持效果。这表明动作捕捉联合虚拟现实技术的培训能提高医学生 CPR 操作的准确性，促进其掌握并维持高质量的 CPR。分析可能的原因是：首先，动作捕捉联合虚拟现实技术具有沉浸感、交互性和想象性 3 大特征，虚拟场景中的实时数据可视化反馈，能让学生直观感知按压深度与频率的标准范围，将抽象指标转化为具象体验，促使学生在模拟教学过程中产生身临其境的感觉。高仿真度的模拟是情景模拟教学无法完全做到的，极大地缩小了教学与实际抢救之间的差距。其次，研究表明 CPR 质量与自我效能密切相关，自我效能高的学生通常实施胸外按压的质量也更高。动作捕捉联合虚拟现实技术培训不受时间、空间限制，允许学生在近似真实的情景下无限次练习、实践 CPR，增强了学生的自我效能，从而促进学生掌握并实施高质量的 CPR。

3.4　推广应用价值分析

CPR+AED 是每一位医务工作者所必备的急救技能，也是医学生临床岗位胜任力培养的重点考核指标，但是目前尚未纳入本科阶段的教学大纲，仅在生产实习过程中或住院医师规范化培训阶段进行简单培训。而这种培训模式却存在参与度不均、重视程度不足等问题，未来将其纳入正式课程体系是完善医学实操培训的必然要求。VR+OMC 技术用于 CPR+AED 培训优势明显，技能长期保留效果突出。高仿真场景与实时动作反馈可以弥补以往教学中实操机会少、纠错滞后的缺陷，学生可无风险反复练习，适配医学院校培训、在职医护复训等场景。并且，标准化培训模块可跨区域共享，助力医疗教育公平。但其不足同样明显：设备使用及维护成本较高，增加了使用门槛，无法大规模投入使用；并且教学过程中仍需要经验丰富的教师参与构建内容并及时更新，技术适配性与推广效率受人员能力影响较大，可能导致其学科覆盖不全面及更新不及时等问题。希望未来能够在《临床医学技能培训》等实践课程先行试点，再逐步推广至《内科学》《急诊医学》等课程，优化教学大纲与考核模块，通过成本控制、师资培训等方式破解障碍，为医学生核心技能培训提供更高效的教学方式。

4　结语

通过本研究的最终结果可以看出，使用 VR+OMC 进行 CPR+AED 培训能够大幅提高教学效果，还能让学生长期保持在较高的能力水平。借助高

质量的3D内容制作，实现了模拟与数字的结合、现实与虚拟的融合，让医学生在临床技能操作中做到眼手合一，获得强烈的沉浸感和交互体验。VR+OMC技术在CPR+AED培训中的应用，不仅是教学手段的创新，更为医学急救教学改革指明了新的方向。VR+OMC系统通过数字化手段，一方面可以复制标准化的急救场景与训练模块，让不同地区、不同师资条件的学生都能获得高质量的培训资源，促进教育公平；另一方面，系统对学生操作数据进行全程量化记录，能够形成教学大数据，为教学效果评估和课程内容优化提供客观依据。此外，该技术的应用场景可进一步拓展至内科、外科、妇产科等多个临床学科的技能培训，丰富教学手段。

当然，本研究仍然存在许多局限。其一，样本量较小且仅来自单一院校，可能存在选择偏倚，结果的外推性需在更大样本、更多院校、不同专业且性别均衡的人群中进一步验证。并且，本研究未分析性别对教学效果的影响，后续可增加性别分层分析。其二，考核指标仅聚焦于操作技能与知识掌握情况，未纳入学生的主观体验（如学习满意度、自我效能感）、临床应急反应能力等质性指标。并且，由于CPR与AED的特殊性，研究也未能跟踪学生在真实临床场景中的急救表现，无法全面反映教学模式的综合效果。其三，研究随访周期为6个月，未探讨更长时间维度（如1年及以上）的技能维持效果，未来可延长随访周期，进一步明确最佳复训周期与强化训练方案。随着数字化教学时代的来临，可以期待VR+OMC在医学教育领域大放异彩，从而提高临床教学质量。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　王海旭：项目设计、撰写论文；李婧：方案优化、统计分析；任家孚：项目实施；丛日博：项目指导、凝练主要观点

参考文献

[1] 达志，黄夕华，陈旭锋，等. 院外心搏骤停患者急诊体外心肺复苏救治流程的优化实践[J]. 中华急危重症护理杂志，2025，6(8)：971-975. DOI: 10.3761/j.issn.2096-7446.2025.08.013.

[2] Ko JS, Kim SR, Cho BJ. The effect of cardiopulmonary resuscitation (CPR) education on the CPR knowledge, attitudes, self-efficacy, and confidence in performing CPR among elementary school students in Korea [J]. Healthcare, 2023, 11(14): 2047. DOI: 10.3390/healthcare11142047.

[3] Trevi R, Chiappinotto S, Palese A, et al. Virtual reality for cardiopulmonary resuscitation healthcare professionals training: a systematic review [J]. J Med Syst, 2024, 48(1): 50. DOI: 10.1007/s10916-024-02063-1.

[4] Ricci S, Calandrino A, Borgonovo G, et al. Viewpoint: virtual and augmented reality in basic and advanced life support training [J]. JMIR Serious Games, 2022, 10(1): e28595. DOI: 10.2196/28595.

[5] Mazzolenis MV, Mourra GN, Moreau S, et al. The role of virtual reality and artificial intelligence in cognitive pain therapy: a narrative review [J]. Curr Pain Headache Rep, 2024, 28(9): 881-892. DOI: 10.1007/s11916-024-01270-2.

[6] 王俊男，程彭超，奚望，等. 虚拟现实技术联合案例教学在本科生前沿外科手术队基本技能教学中的应用[J]. 中华医学教育探索杂志，2024，23(1)：103-108. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20221222-01605.

[7] 冯佳，郑琳琳，张玉萍，等. 虚拟现实技术在医学急救技能培训领域应用的范围[J]. 中华急诊医学杂志，2024，33(6)：857-862. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2024.06.025.

[8] 张伟东，倪培峰，刘伟，等. 虚拟现实技术在留学生心肺复苏技能培训中的应用[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志，2023，18(12)：1546-1550. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6966.2023.12.002.

[9] 沈艳，刘宁，周卫红，等. 基于虚拟现实仿真技术的心肺复苏培训系统的设计与实现[J]. 中华医学教育探索杂志，2025，24(1)：110-114. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20231022-01953.

[10] 吴晓青，张子璇，孟昭刚. 基于虚拟现实技术的心肺复苏培训应用进展[J]. 海军医学杂志，2023，44(11)：1203-1206. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0754.2023.11.022.

[11] Castillo J, Rodríguez-Higueras E, Belmonte R, et al. Efficacy of virtual reality simulation in teaching basic life support and its retention at 6 months [J]. Int J Environ Res Public Health, 2023, 20(5): 4095. DOI: 10.3390/ijerph20054095.

[12] 许信杰，霍兆昌，赵紫静，等. 虚拟现实在心肺复苏培训中的应用进展[J]. 中国医学教育技术，2021，35(4)：443-448. DOI: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202104008.

[13] Yannopoulos D, Aufderheide TP, Abella BS, et al. Quality of CPR: an important effect modifier in cardiac arrest clinical outcomes and intervention effectiveness trials [J]. Resuscitation, 2015, 94: 106-113. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2015.06.004.

（收稿日期：2025-12-22）

（本文编辑：邬小梅）